

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS
REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
2003-2009
Nanociència i nanotecnologia

Report coordinat per Jordi Fraxedas i Francesc Pérez-Murano
amb la col·laboració de Gemma Rius

Aquest estudi ha comptat amb el suport i la col·laboració de la Generalitat de Catalunya, i ha estat realitzat sota la direcció i cura de la Secretaria Científica i de l'Observatori de la Recerca de l'IEC.

© 2014, Institut d'Estudis Catalans

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: octubre del 2014

Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció del Servei Editorial de l'IEC

ISBN: 978-84-9965-201-6

DOI: 10.2436/15.0110.16.12



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de *Creative Commons*. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>.

Sumari

Abreviacions	4
Resum	6
1. INTRODUCCIÓ	7
1.1. Context en infraestructures i polítiques científiques en nanotecnologia	9
1.2. Context de la nanotecnologia a Catalunya	10
1.3. Estructura de l'informe i metodologia	12
2. ENTITATS I GRUPS DE RECERCA DEL SECTOR PÚBLIC	13
2.1. Anàlisi dels grups: nombre, activitat i distribució	14
3. PRODUCCIÓ CIENTÍFICA	17
3.1. Articles d'investigació	17
3.2. Tesis doctorals	23
4. FINANÇAMENT	25
5. ACTIVITAT INDUSTRIAL I SECTOR PRIVAT	27
6. CONCLUSIONS	30
FONTS CONSULTADES	33
ANNEX 1	34
ANNEX 2A	37
ANNEX 2B	38

Abreviacions

0D	zerodimensional
1D	unidimensional
2D	bidimensional
3D	tridimensional
AENN	Acció Estratègica de Nanociència i Nanotecnologia
AFM	microscopi de forces atòmiques
AIN	«Aplicacions industrials de la nanotecnologia»
ASCAMM	Fundació Privada Associació Catalana d'Empreses de Motlles i Matrius
CCiTUB	Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona
CERCA	Centres de Recerca de Catalunya
CIN2	Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia
CNM	Centre Nacional de Microelectrònica
CREBEC	Centre de Referència en Bioenginyeria de Catalunya
CRnE	Centre de Recerca en Nanoenginyeria
CSIC	Consell Superior d'Investigacions Científiques
DNA	àcid desoxiribonucleic
ENIAC	European Joint Undertakingfor Nanoelectronics
EPO	Oficina Europea de Patents
EUA	Estats Units d'Amèrica
Eurostat	Oficina Estadística de la Unió Europea
FP	Programa Marc
IBEC	Institut de Bioenginyeria de Catalunya
ICFO	Institut de Ciències Fotòniques
ICIQ	Institut Català d'Investigació Química
ICMAB	Institut de Ciència de Materials de Barcelona
ICN	Institut Català de Nanotecnologia
ICN2	Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia
ICREA	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats
IDIBAPS	Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer
IEC	Institut d'Estudis Catalans
IIQAB	Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals de Barcelona
IN2UB	Institut de Nanociència i Nanotecnologia de la Universitat de Barcelona

IQAC	Institut de Química Avançada de Catalunya
IREC	Institut de Recerca en Energia de Catalunya
M€	milió d'euros
NANOMOL	Centre de Nanotecnologia i Materials Moleculars
nm	nanòmetre
NMP	«Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials, and new production processes and devices»
NNI	Iniciativa Nacional de Nanotecnologia
ns	nanosegon
OEPM	Oficina Espanyola de Patents i Marques
PACS	<i>Physics and Astronomy Classification Scheme</i>
PCB	Parc Científic de Barcelona
PET	poli (tereftalat d'etilè)
R+D+I	recerca, desenvolupament i innovació
SGR	suport als grups de recerca
SRCiT	Servei de Recursos Científics i Tècnics de la Universitat Rovira i Virgili
STM	microscopi d'efecte túnel
TECNIO	tecnologia diferencial, innovació empresarial i excel·lència en gestió
TIC	tecnologies de la informació i la comunicació
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UB	Universitat de Barcelona
UE	Unió Europea
UdG	Universitat de Girona
UNESCO	Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
URL	Universitat Ramon Llull
URV	Universitat Rovira i Virgili

Resum

Aquest report analitza les accions i activitats dutes a terme a Catalunya en relació amb la recerca en nanociència i nanotecnologia durant el període 2003-2009. Aquest període ha estat una etapa capital, ja que s'hi han establert unes bases prou sòlides, tot i que millorables, per a la consolidació d'aquesta activitat de caràcter científicotecnològic. L'augment en el nombre de grups de recerca implicats en nanociència i nanotecnologia n'és una prova, que ha donat lloc a una evolució positiva de la competitivitat de la recerca feta a Catalunya. Aquest augment ha estat proporcionat, en gran mesura, per les accions governamentals específiques dutes a terme, especialment la creació de centres de recerca de la Generalitat de Catalunya, així com accions específiques per part de les universitats i del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC).

La nanociència i la nanotecnologia tenen un caràcter intrínsecament transversal, propietat que dificulta la identificació i classificació de tots els actors i activitats relacionats. Conscients d'aquesta qüestió, els autors d'aquest report hem definit una metodologia basada en la utilització de bases de dades amb criteris de recerca específics, completada amb el nostre coneixement del teixit científic del país. Tot i que pot haver-hi mancances, el sistema utilitzat garanteix que la part més significativa de la recerca quedi reflectida en el present estudi.

La conclusió principal és que durant el període 2003-2009 el nivell científic assolit és altament competitiu, quantificat per articles publicats en revistes d'alt índex d'impacte i propiciat en bona mesura per accions concretes de finançament de la recerca. Quant a la transferència de tecnologia, tot i que l'activitat ha estat més aviat reduïda, es comença a reflectir un increment que sens dubte serà rellevant en el següent període. Aquesta tendència positiva de l'activitat de recerca en nanociència i nanotecnologia s'espera que progressi si les inversions són les adequades i si s'aconsegueix, mitjançant els mecanismes idonis, augmentar la interacció entre el teixit industrial i els grups de recerca. La tecnologia associada és d'alt valor afegit, necessita de personal altament qualificat i ha de ser un pilar per a una societat catalana moderna basada en el coneixement.

1. INTRODUCCIÓ

El prefix *nano* indica la reducció de nou ordres de magnitud de la unitat de mesura en consideració. Així, un nanòmetre (nm) equival a 10^{-9} metres, és a dir, la mil·lionèsima part d'un metre, i un nanosegon (ns) equival a 10^{-9} segons. Les àrees anomenades *nanociència* i *nanotecnologia* estan associades a dimensions espacials nanomètriques, però no necessàriament a tots els paràmetres físics (com ara els relacionats amb el temps, l'energia, etc.) en què també les magnituds fan que les unitats portin el prefix *nano*.

El terme *nanotecnologia* s'utilitza habitualment per referir-se tant a la nanociència com a la nanotecnologia, entenent que les dues àrees estan fortament relacionades, i en aquest report utilitzarem el terme *nanotecnologia*, seguint aquesta convenció.

Pot sorprendre que encara no existeixi una definició universalment acceptada de la nanotecnologia, però això és degut a la seva irrupció relativament recent (aproximadament, fa trenta anys) i al dinamisme que continua generant, la qual cosa fa que aquest camp estigui en permanent evolució. Segons la Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (NNI) dels Estats Units d'Amèrica (EUA), un programa de recerca i desenvolupament federal creat el 2000 per coordinar diferents agències en l'àrea de la nanotecnologia, aquesta implica la comprensió i el control de la matèria en dimensions aproximadament d'entre 1 nm i 100 nm.

En aquestes dimensions, la matèria es pot comportar de manera diferent de com ho fa en dimensions superiors, la qual cosa implica un cert potencial per al desenvolupament de noves aplicacions. Aquest interval, en termes de mida de la matèria, es pot considerar la frontera entre els àtoms i les molècules individuals i els agregats constituïts per menys de 10^6 àtoms o molècules. El que està implícit en aquesta definició, i que cal remarcar, és que almenys una de les tres dimensions espacials ha d'ajustar-se a aquesta restricció. Aquest límit superior de 100 nm no cal que es consideri com a estricte, sinó que dona un ordre de magnitud de referència.

Els nanoobjectes els podem classificar en funció de la dimensió. Així, els àtoms i les molècules individuals i les nanopartícules entrarien dintre dels objectes zerodimensionals (0D), perquè les seves tres dimensions estan per sota dels 10 nm. Els nanotubs, així com altres objectes unidimensionals (1D), com, per exemple, els nanofil·ls, posseeixen una sola dimensió, que sol ser superior als 100 nm. El cas bidimensional

(2D) inclou les superfícies i les intercares, amb una sola dimensió nanomètrica. Finalment, aquells objectes les tres dimensions espacials dels quals estan a prop dels 100 nm es consideren tridimensionals (3D). Un exemple rellevant d'aquesta darrera família són els virus. Cal remarcar la diferència entre els sistemes 0D i 3D, en què hi ha un ordre de magnitud de diferència.

Més important que la dimensió espacial en si, és la funcionalitat dels objectes, en especial quan aquesta és diferent de la dels objectes amb dimensions micromètriques o macromètriques. Un exemple paradigmàtic el constitueixen les nanopartícules. Les emulsions o les dispersions de nanopartícules, en funció dels seus diàmetres, exhibeixen colors diferents, els quals són molt diferents del color del material no nanoestructurat. Un altre exemple rellevant correspon als biosensors. Molts dels dispositius biosensors són de mida micromètrica o mil·limètrica, però la seva funcionalitat depèn de fenòmens que succeeixen a les intercares actives, i, per tant, s'inclourien en la categoria dels objectes nanomètrics 2D.

El marc de treball de la nanotecnologia, segons la definició exposada anteriorment, inclou camps de recerca que han sorgit de la capacitat de caracteritzar i manipular la matèria a escala nanomètrica, utilitzant sovint tècniques, mètodes i instruments nous, però, de la mateixa manera, inclou també camps tradicionalment ja existents. En aquest darrer cas, sense variar substancialment la seva metodologia, l'evolució els ha portat a considerar el comportament i les propietats de la matèria en dimensions nanomètriques com a element fonamental d'estudi.

Aquests aspectes fan de la nanotecnologia un camp molt multidisciplinari i transversal, però alhora dificulten la classificació de les activitats segons les divisions clàssiques o consolidades (física, química, biologia, etc.), amb el risc de deixar-ne fora algunes. Alguns exemples ens ajudaran a aclarir aquest punt. Objectes molt estudiats i utilitzats durant decennis, tals com capes fines, heteroestructures, superxarxes, etc., no eren classificats com a estructures nanomètriques abans de l'eclosió nano, però, en canvi, avui en dia sí que ho són. L'àcid desoxiribonucleic (DNA) és un objecte intrínsecament nanomètric (1D), però no se l'ha considerat com a tal fins que no s'ha pogut mesurar de manera individual, aïllat.¹ El mateix es pot aplicar a les proteïnes, enzims, etc., que tenen caràcter 3D. Aquestes biomolècules es poden considerar des de l'àrea de la biologia, com tradicionalment s'ha fet, o dintre de la nova subàrea de la

1. Vegeu, per exemple: Carlos BUSTAMANTE, Zev BRYANT i Steven B. SMITH, «Ten years of tension: single-molecule DNA mechanics», *Nature*, vol. 421 (2003), p. 423-427.

nanobiologia. Aquesta dicotomia o indefinició també s'aplica a la nova disciplina de la nanomedicina, també coneguda com a nanobiomedicina.

Un indicador que la nanotecnologia encara no ha trobat el seu lloc dintre de les grans àrees de coneixement tradicionals el donen els esquemes internacionals de classificació PACS i de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura (UNESCO). La sigla PACS correspon al *Physics and Astronomy Classification Scheme*, de l'Institut Americà de Física, establert amb un criteri centrat en la física i l'astronomia. L'any 2010, se'n va publicar el suplement, incloent els temes nano dintre de les nou grans divisions i incorporant-hi un total de dues-centes noves subdivisions. Sorprenentment, el terme *nano* no apareix en cap camp de la classificació de la UNESCO de les àrees de la ciència i la tecnologia, tot i existir diferents documents elaborats específicament per aquest organisme sobre la nanotecnologia.

1.1. Context en infraestructures i polítiques científiques en nanotecnologia

La creació, l'any 2000, de la NNI als EUA va suposar un estímul crucial per incentivar la dedicació de recursos a la recerca en nanotecnologia, no només als EUA, sinó també a la resta dels països desenvolupats.

La Unió Europea (UE) ha finançat el desenvolupament nanotecnològic essencialment a partir del VI Programa Marc (FP6, Sixth Framework Program), amb la creació de la prioritat temàtica «Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials, and new production processes and devices» (NMP) i amb un pressupost de 1.429 M€ en el període 2002-2006. Aquesta prioritat s'ha estès a l'FP7, dintre de la categoria «Cooperació», amb un pressupost total de 3.500 M€ per al període 2007-2013. El terme *nano* apareix explícitament en la NMP, però no així en altres àrees, com ara les referents a les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC), l'energia, la salut, etc., en les quals també es financen projectes relacionats amb l'activitat nano. Existeixen també noves iniciatives dins de l'FP7 amb participació tant d'organismes públics com privats, entre les quals destaca, dins de l'àmbit de la nanotecnologia, la iniciativa europea en nanoelectrònica European Joint Undertaking for Nanoelectronics (ENIAC). En paral·lel, nombrosos països europeus han endegat de manera individual durant aquest període programes específics de finançament de la recerca en

nanotecnologia, aportant habitualment un nivell de recursos força superior al provinent dels fons europeus i permetent la creació de noves instal·lacions i infraestructures.

A l'Estat espanyol, s'hi va dur a terme, durant el període 2004-2007, l'Acció Estratègica de Nanociència i Nanotecnologia (AENN), amb set objectius temàtics definits. Aquesta iniciativa va suposar una important injecció econòmica per a diversos grups de recerca, que van poder així iniciar la seva activitat de manera estable. Malauradament, aquesta iniciativa no va tenir continuïtat i el finançament de la recerca nano s'ha integrat dintre dels esquemes tradicionals del Pla Nacional de Recerca Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica.

1.2. Context de la nanotecnologia a Catalunya

A Catalunya, l'activitat en nanotecnologia es beneficia de la reorganització general portada a terme del 2000 al 2003 per la Conselleria d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya. Es dinamitza el panorama científic mitjançant la creació de fundacions sense ànim de lucre que faciliten la creació de nous instituts de recerca, tals com l'Institut Català de Nanotecnologia (ICN). Aquest signa un conveni de col·laboració (creació d'un centre mixt) amb el CSIC, que dóna lloc al Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2). Així mateix, es crea l'any 2001 la Fundació Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), amb l'objectiu d'estimular el creixement de la recerca d'alt nivell a Catalunya mitjançant la contractació de científics de notable talent.

En l'àmbit de la recerca en nanotecnologia, aquestes accions i d'altres han marcat l'activitat científica de manera decisiva. El període 2003-2009 és especial, car inclou el començament de les activitats a Catalunya des d'un punt de vista formal, amb la creació d'instituts de recerca que realitzaran activitat en aquesta àrea, promoció mitjançant la creació de beques, iniciatives com Nanoarcat per possibilitar col·laboracions entre investigadors d'Aragó i Catalunya, etc. Dels instituts creats, a banda de l'ICN-CIN2, cal destacar-ne l'Institut Català d'Investigació Química (ICIQ), l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC), l'Institut de Nanociència i Nanotecnologia de la Universitat de Barcelona (IN2UB) i el Centre de Recerca en Nanoenginyeria (CRnE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), el qual va ser creat el 2009. La ubicació de l'IBEC al Parc

Científic de Barcelona (PCB) afavoreix que la seva recerca es desenvolupi en un entorn amb una elevada activitat en les ciències de la vida i de la salut. L'IBEC inclou el Laboratori de Nanobioenginyeria i la Plataforma de Nanotecnologia, que ofereix serveis de nanofabricació, nanomanipulació, anàlisi i caracterització. Cal esmentar aquí els serveis a grups de recerca, centres tecnològics, instituts de recerca i empreses privades que donen els centres científics i tecnològics associats a les universitats, com ara els Centres Científics i Tecnològics de la UB (CCiTUB), els Serveis Científicotècnics i el Parc de Recerca de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), el Servei de Recursos Científics i Tècnics (SRCiT) de la Universitat Rovira i Virgili (URV) i els Serveis Tècnics de Recerca de la Universitat de Girona (UdG), alguns dels quals han estat embrions de grups de recerca consolidats.

A més, en aquest període és quan es recullen els primers fruits en termes de producció científica portada a terme en centres de recerca i universitats de Catalunya, com a conseqüència de l'activitat començada anys abans per iniciativa de grups de recerca pioners.

Una altra característica a destacar és que el període 2003-2009 està emmarcat dintre d'un context econòmic favorable, que ha propiciat el finançament generós d'activitats de recerca científica. El pròxim informe, basat en l'activitat a partir de l'any 2010, haurà de tenir en compte el cicle econòmic recessiu, que està afectant de manera especialment negativa el desenvolupament de l'activitat científica en centres ja consolidats, a causa de la reducció molt significativa d'iniciatives i recursos, i caldrà avaluar si s'haurà produït un retrocés.

Aprofitem l'oportunitat que un document d'aquestes característiques ofereix, en tant que possibilita la reflexió objectiva, per insistir que un país que es vol modern i amb futur difícilment ho pot assolir si no inverteix de manera adequada i sostinguda en recerca científica i tecnològica capdavantera. L'esforç de formació de personal altament qualificat es pot veure esquinçat per la marxa d'aquest personal cap a altres països millor preparats i per la manca de continuïtat, debilitant una de les columnes en les quals s'hauria d'assentar el present i futur de Catalunya.

1.3. Estructura de l'informe i metodologia

El caràcter transversal i multidisciplinari de la nanotecnologia dificulta el recull exhaustiu de dades per obtenir una visió completa de l'activitat de recerca en nanotecnologia, en aquest cas, a Catalunya. En aquest report, hem procedit de la següent manera. En primer lloc, hem identificat els grups de recerca actius en nanotecnologia a partir de la llista de grups que han aconseguit la denominació *grups de recerca* en les convocatòries d'ajuts per donar suport a les activitats dels grups de recerca de Catalunya (SGR, 2005 i 2009). D'aquesta manera, obtenim la distribució de l'activitat de recerca en nanotecnologia segons les àrees geogràfiques, la temàtica específica i la tipologia de les institucions de recerca. No hem analitzat en detall els recursos humans implicats (nombre d'investigadors, grup i categories laborals, etc.), ni tampoc el seu nivell educatiu (doctors, enginyers, estudiants de doctorat o de màster, etcètera).

Seguidament, per a l'avaluació bàsica de la producció científica, ens centrem en una compilació i anàlisi quantitativa de les publicacions en revistes científiques, així com les tesis doctorals. Per a la consulta de les revistes, s'ha utilitzat una única base de dades (*Thomson Reuters Web of Knowledge*), amb un criteri ampli, però específic (*nano*). Com que la paraula *Catalunya* no s'acostuma a especificar en les adreces d'afiliació, aquest identificador no pot ser usat com a paràmetre de cerca. Per aquest motiu, usem el criteri geogràfic per ciutats resultant del recull descrit en la secció anterior. La llista de treballs de doctorat en nanotecnologia prové del buidatge de la llista general proporcionada per l'Observatori de Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC).

No té lloc en aquest informe una avaluació estricta i exhaustiva en termes d'excel·lència investigadora, de manera que no abordem la determinació ni l'anàlisi dels actors específics que la duen a terme. Dit d'una altra manera: no es realitza un rànquing de grups ni d'investigadors individuals. Tanmateix, incloem un breu apunt en termes de qualitat mitjançant l'anàlisi de les revistes on més es publica i l'impacte, variables que pensem que poden ser útils de saber i tenir en compte en el moment d'analitzar l'evolució de la qualitat de la recerca en nanotecnologia en els propers períodes.

En tercer lloc, compilem els recursos econòmics destinats a la recerca en nanotecnologia a Catalunya. La inversió prové de fonts públiques europees, nacionals, autonòmiques i regionals. Aquesta té una correspondència directa amb l'escenari descrit en la introducció sobre les accions resultants de les diverses polítiques científiques

governamentals, per l'absència de fundacions o d'inversió privada, abocada a les universitats o els centres de recerca, en el període 2003-2009. Convé tenir present que les fonts de finançament de les quals es nodreixen els grups de recerca en nanotecnologia a Catalunya són diverses, i, per tant, només hem analitzat les convocatòries en les quals hi ha més concurrència de propostes.

Finalment, esbossem l'activitat de recerca en el sector industrial i privat. Com es podrà observar, durant el període 2003-2009, la major part de la recerca en nanotecnologia és de caràcter fonamental, i tot just ara comença a tenir rellevància industrial.

2. ENTITATS I GRUPS DE RECERCA DEL SECTOR PÚBLIC

Per definir l'activitat de recerca en nanotecnologia a Catalunya durant el període 2003-2009, hem procedit, en primer lloc, a identificar els grups de recerca actius en aquesta àrea. Els grups de recerca estan adscrits a tres tipus d'institucions: universitats, CSIC i Centres de Recerca de Catalunya (CERCA).

Una de les característiques principals de l'àrea de nanotecnologia és la seva transversalitat, en el sentit que comprèn diverses de les àrees tradicionals del coneixement (química, física, biologia, etc.). És per aquesta raó que fer una identificació exhaustiva i alhora acurada dels grups de recerca actius en nanotecnologia no és possible amb un únic criteri, com sí que es podria donar en altres col·lectius actius estrictament en temàtiques dins de les àrees tradicionals de classificació.

Per tal d'incloure una activitat científica concreta o un grup com a pertanyent a l'àrea de nanotecnologia, hem seguit un criteri múltiple, consistent en què compleixi com a mínim una de les següents condicions: que els membres del grup de recerca o participants a l'activitat es considerin de l'àrea, que consti el terme (prefix) *nano* en el seu nom o continguts, o bé que els autors d'aquest informe coneguin que s'inclou en alguna de les definicions de l'àrea, tal com han estat exposades en la introducció d'aquest report.

2.1. Anàlisi dels grups: nombre, activitat i distribució

En primer lloc, convé tenir present que part de l'activitat d'un nombre considerable d'aquests grups es pot emmarcar també en alguna o algunes de les altres àrees de coneixement (química, física, enginyeria, etcètera).

En la taula 1 es mostra el nombre de grups SGR identificats en les convocatòries del 2005 i del 2009, amb trenta-un i cinquanta-un grups, respectivament.

TAULA 1
Nombre de grups SGR censats en les convocatòries del 2005 i del 2009

Àrea	SGR2005	SGR2009	Augment (%)
Totes les àrees	400	545	36,3
Nanotecnologia	31	51	64,5
Percentatge de la nanotecnologia	7,8	9,4	—

És remarcable que l'augment de grups de recerca amb activitat en nanotecnologia hagi estat del 64,5 %, xifra superior a l'augment global de grups de recerca SGR a Catalunya. D'aquesta manera, passen a representar gairebé el 10 % entre el total de grups de recerca a Catalunya. En global, i assumint una mitjana de quinze investigadors per grup de recerca, obtenim que l'any 2009, a la fi del període considerat, hi ha a Catalunya prop de set-cents cinquanta investigadors amb activitat en nanotecnologia.

Si bé part dels nous grups que han començat activitat en nanotecnologia a Catalunya són grups pertanyents a alguna de les universitats catalanes, l'augment més significatiu ha provingut dels grups adscrits als centres de recerca, bé siguin de centres del CSIC ubicats a Catalunya, bé siguin, sobretot, dels centres CERCA creats per la Generalitat de Catalunya. Això es pot veure reflectit en la taula 2. Com es descriu més endavant, l'increment relatiu de la productivitat científica (sobre la base del nombre d'articles) durant aquest període és molt superior a l'increment relatiu en el nombre de grups. Això es pot atribuir al fet que molts dels grups de recerca han redefinit substancialment la seva orientació cap a temàtiques de nanotecnologia durant aquest període.

TAULA 2

Distribució dels grups SGR de les convocatòries del 2005 i del 2009 per tipus d'entitats

	<i>SGR2005</i>	<i>SGR2009</i>	<i>Augment (%)</i>
Universitats	21	25	20,0
CSIC	8	13	62,5
Centres CERCA	2	13	550,0
Total	31	51	64,5

Partint dels grups identificats, s'ha procedit a analitzar quines són les principals àrees d'activitat en la nanotecnologia a Catalunya. En les figures 1 i 2 es mostra una classificació dels grups d'acord amb les àrees tradicionals de coneixement i també en funció del principal objecte de la seva recerca, segons un punt de vista tecnològic. El caràcter transversal i multidisciplinari de la nanotecnologia fa que els grups sovint s'encabeixin en més d'una àrea de coneixement i que tinguin més d'un objecte d'estudi, però les figures 1 i 2 serveixen per esbossar les principals línies de recerca de la nanotecnologia a Catalunya.

S'hi observa una inclinació cap a àrees de caràcter fonamental (química i física), juntament amb una activitat molt important en ciència de materials. Respecte als objectes d'estudi, la distribució reflecteix una dualitat entre les activitats de caràcter més continuista, com a complement de disciplines tradicionals (dispositius, monocapes i interfases, principalment conduïdes per grups implicats en el desenvolupament de sensors), i els nous paradigmes de la nanotecnologia (nanopartícules, nanotubs, instrumentació).

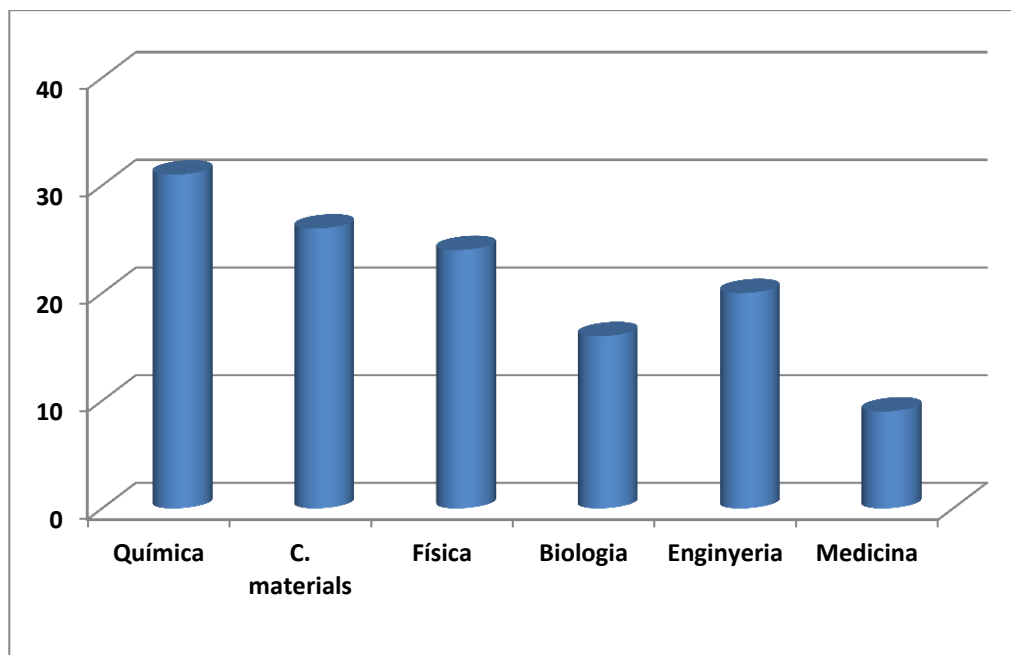


FIGURA 1. Distribució dels grups SGR2009 en funció de l'àrea de coneixement.

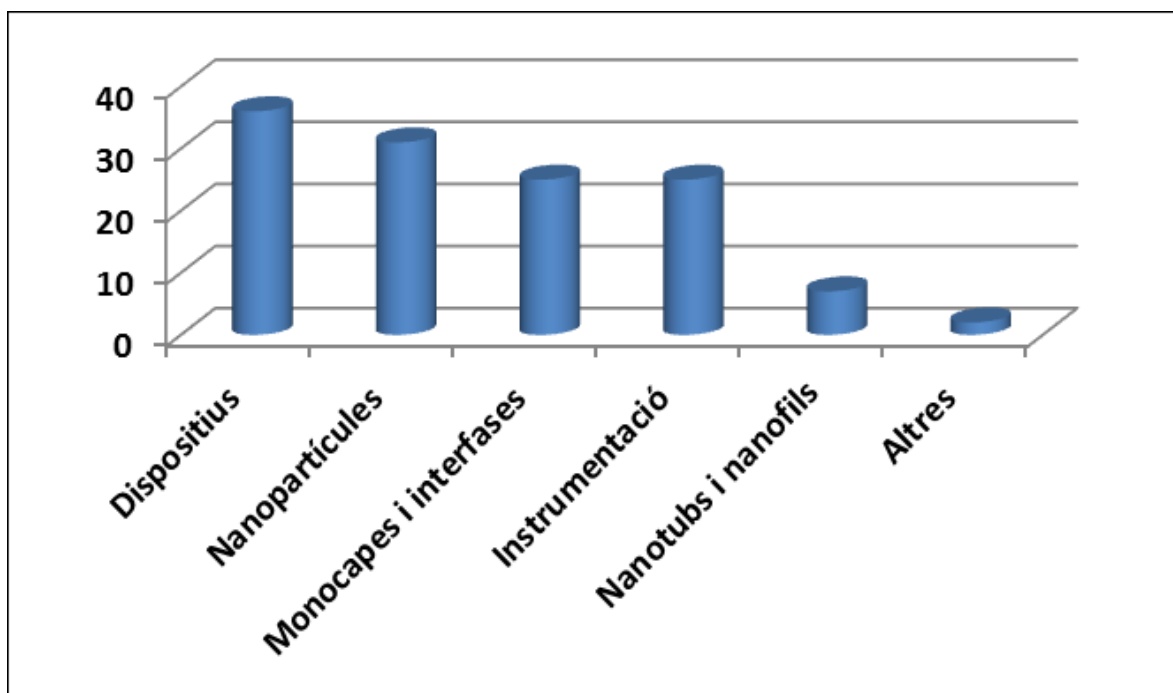


FIGURA 2. Distribució dels grups SGR2009 en funció de l'objecte d'estudi.

La lectura de la distribució geogràfica dels grups mostra l'existència de dos nuclis entre els quals es concentra més del 85 % del total. Concretament, vint-i-cinc grups es troben al campus de la UAB, vint grups a la zona universitària de la ciutat de

Barcelona (UB i UPC), cinc grups a Tarragona (URV i ICIQ) i un grup a Castelldefels (ICFO).²

TAULA 3
*Distribució geogràfica dels grups SGR actius en nanotecnologia
en les convocatòries del 2005 i del 2009*

<i>Àrea geogràfica</i>	<i>Nombre de grups SGR2009</i>
Bellaterra	25
Barcelona	20
Tarragona	5
Castelldefels	1
Total	51

Per àrees de coneixement, a Bellaterra es troba la major part de grups amb activitat principal en nanomaterials i a la zona de Barcelona és on es concentra la major part de grups amb activitat primordial en nanobiomedicina, si bé cal tenir present que el caràcter interdisciplinari de la nanotecnologia fa que sovint els grups de recerca tinguin activitat simultània en diverses àrees.

3. PRODUCCIÓ CIENTÍFICA

3.1. *Articles d'investigació*

El recompte de publicacions científiques en nanotecnologia a Catalunya durant el període 2003-2009 es quantifica en 2.446 articles en revistes internacionals, els quals han rebut aproximadament quaranta-tres mil citacions (consulta: 20 de febrer del 2012). Per a la consulta, s'ha utilitzat la plataforma bibliomètrica *Thomson Reuters Web of Knowledge*, amb un criteri de nomenclatura (*nano**) més un criteri de localització geogràfica (afiliació a ciutats de Catalunya).

Tot i que aquest criteri no és exhaustiu, ni completament específic a l'hora de determinar articles de la temàtica nano, hem comprovat, a partir de la selecció dels cinc-cents articles més citats, que és suficientment acurat per determinar les tendències i possibilitar comparacions amb altres regions i països.

2. El grup de Castelldefels correspon al grup de nanofotònica de l'ICFO, integrat per quatre grups diferents del mateix ICFO.

Els gràfics de les figures 3 i 4 mostren el nombre de publicacions per cada any a Catalunya, Dinamarca, Suïssa i Suècia, així com aquelles adscrites a la Comunitat de Madrid. Es registra un creixement, de ritme aproximadament constant, en el nombre d'articles en els cinc casos considerats.

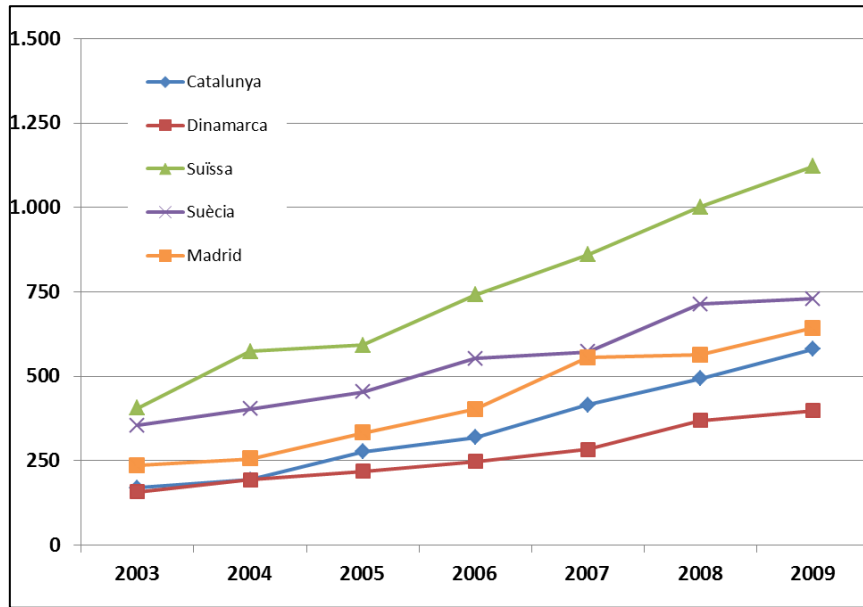


FIGURA 3. Nombre d'articles de tema *nano**, en funció de l'any de publicació i per diferents països, incloent-hi la Comunitat de Madrid.

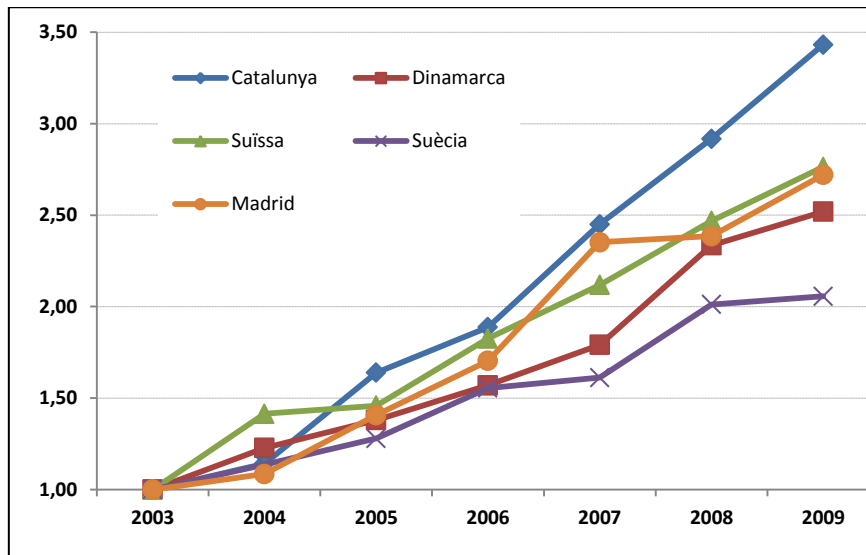


FIGURA 4. Factor d'increment en el nombre d'articles publicats per any, normalitzat respecte al nombre d'articles publicats l'any 2003.

Països com Suïssa o Suècia presenten una producció neta superior a la de Catalunya, però no així Dinamarca, que presenta una producció semblant a la de Catalunya els anys 2003 i 2004, però inferior a partir del 2005. És destacable que l'augment relatiu de publicacions per any a Catalunya sigui superior al de la resta de països, especialment durant la segona meitat del període 2003-2009.

Aquest increment superior del ritme de publicació al llarg dels anys també és característic de la resta de l'Estat espanyol, excepte pel que fa a la Comunitat de Madrid, que tindria una evolució semblant a la de Suïssa i Dinamarca. Aquesta tendència compartida a escala global a Espanya pot ser producte de les accions empreses (basades en el model de la ICREA) a diverses comunitats espanyoles per part dels governs autonòmics (Aragó, el País Basc i Galícia, principalment), i que han tingut un clar efecte dinamitzador, així com de l'activitat en nanotecnologia de nombrosos grups de recerca catalans, que s'han reorientat cap aquest camp.

Considerant l'impacte de la producció científica en el total del període 2003-2009, Catalunya té un factor h de 83, inferior si el comparem amb altres països i regions. Com que el factor h augmenta amb el nombre total d'articles i , per tant, no és directament comparable per a volums de publicació diferents, hem analitzat també la mitjana de citacions per article. En el cas de Catalunya (figura 5), resulta que és de divuit citacions per article, xifra lleugerament inferior a la de la resta de països.

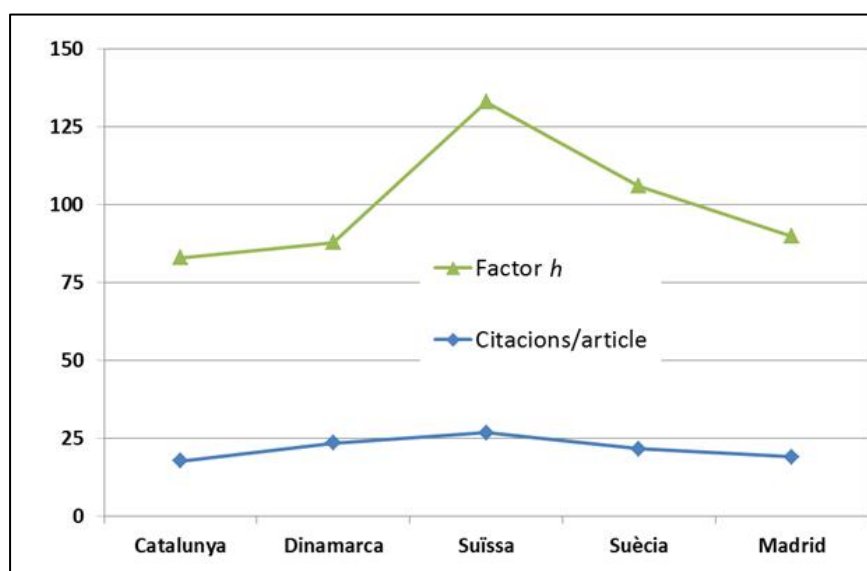


FIGURA 5. Factor h i citacions/article a Catalunya i a diversos països europeus.

Nota: s'han considerat tots els articles del període 2003-2009 i el nombre de citacions en data 20 de febrer del 2012.

Considerant les dades de producció científica de les regions abans esmentades, modulades segons el factor de la població, per a cadascuna de les anualitats, identifiquem diversos aspectes (figura 6). Per una banda, mentre que la població catalana és comparable a la de Suïssa, el nombre de publicacions per milió d'habitants d'aquesta és aproximadament el doble del de Catalunya. Per altra banda, la producció catalana és comparable tant amb la de països amb més població (Suècia) com amb menys població (Dinamarca), especialment en els darrers anys del període analitzat (2008-2009).

Com a nota de referència global i general, l'Estat espanyol es troba en l'onzè lloc mundial en termes de citacions, incloent-hi totes les àrees de recerca científica, i en el sisè d'Europa, just per darrere d'Holanda i per davant de Suïssa (dades del període 2001-2011, segons *Thomson Reuters*). Cal tenir en compte que l'activitat de Suïssa és especialment alta en l'àrea de la nanotecnologia: el descobriment d'una eina cabdal per a la nanotecnologia com és el microscopi d'efecte túnel (STM, de l'anglès *scanning tunneling microscope*) va tenir lloc a Suïssa l'any 1981. Els seus inventors, Gerd Binnig i Heinrich Röhrer, van rebre el Premi Nobel de Física l'any 1986 pel desenvolupament d'aquesta tècnica. El mateix any 1986, es va inventar el microscopi de forces atòmiques (AFM, de l'anglès *atomic force microscope*), una altra eina imprescindible per a l'eclosió de la nanotecnologia, i que va comptar amb la participació de Gerd Binnig.³ En relació amb aquest fet, la forta tradició a Madrid en física de superfícies, gràcies a l'escola creada per Nicolás Cabrera i a un increment del personal investigador, va fer que les tècniques STM s'implementessin ràpidament a Madrid primerament i després a Catalunya. L'activitat en nanotecnologia a Catalunya no només no ha quedat al marge, sinó que exerceix actualment un paper capdavanter a Espanya i rellevant a escala europea.

3. Christoph GERBER i Hans Peter LANG, «How the doors to the nanoworld were opened», *Nature Nanotechnology*, vol. 1 (2006), p. 3-5.

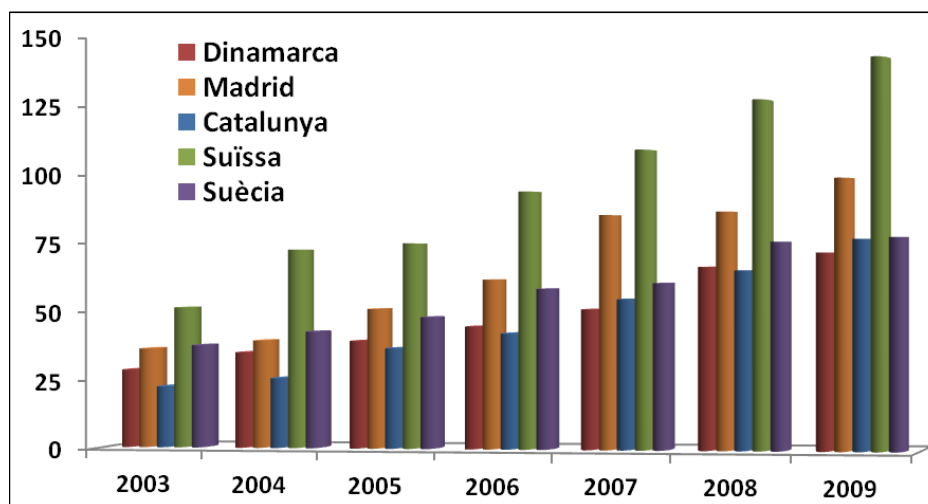


FIGURA 6. Nombre d'articles de tema nano per milió d'habitants, per anys i per països.

Com a avaluació complementària de l'impacte de la recerca i a mode d'exemple, durant el període 2003-2009 i segons els 2.446 articles publicats amb afiliació a Catalunya que inclouen el tema *nano**, les deu revistes en les quals més s'ha publicat són les que es mostren en la taula 4.

TAULA 4

Comparació del rànquing de les revistes amb més publicacions en nanotecnologia a Catalunya i a tot el món (2003-2009)

<i>Revista</i>	<i>Nombre d'articles publicats</i>	<i>Posició (Catalunya)</i>	<i>Posició (mundial)</i>
<i>Physical Review B</i>	97	1	5
<i>Nanotechnology</i>	79	2	2
<i>Applied Physics Letters</i>	75	3	1
<i>Journal of Applied Physics</i>	63	4	7
<i>Sensors and Actuators B: Chemical</i>	53	5	47
<i>The Journal of Physical Chemistry C</i>	40	6	8
<i>Langmuir</i>	32	7	10
<i>Microelectronic Engineering</i>	32	7	53
<i>Physical Review Letters</i>	32	7	9
<i>Chemistry of Materials</i>	31	10	12

El nombre total d'articles publicats en aquestes deu revistes suposa aproximadament el 22 % del total. De les deu revistes en les quals més es publica a escala mundial, pel que respecta a les publicacions d'investigadors catalans, hi manquen el *Journal of the American Chemical Society* (onzena posició a Catalunya i tercera posició mundial), *Nano Letters* (quinzena posició a Catalunya i quarta posició mundial) i *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (dinovena posició a Catalunya i sisena posició mundial).

Analitzem també les revistes en les quals s'han publicat els cent articles més citats. En les taules 5 i 6 es mostren els rànquings de revistes dels cent articles més citats del món i de Catalunya, respectivament.

TAULA 5
Rànquing de revistes dels cent articles més citats (món)

<i>Posició</i>	<i>Revista</i>	<i>Nombre d'articles</i>
1	<i>Science</i>	21
2	<i>Nature</i>	13
3	<i>Chemical Reviews</i>	7
4	<i>Nature Materials</i>	7
5	<i>Nature Biotechnology</i>	6
6	<i>Angewandte Chemie International Edition</i>	5
7	<i>Cell</i>	4
7	<i>Physical Review Letters</i>	4
9	<i>Advanced Materials</i>	3
9	<i>The Journal of Physical Chemistry B</i>	3
9	<i>Journal of the American Chemical Society</i>	3

TAULA 6
Rànquing de revistes dels cent articles més citats (Catalunya)

Posició	Revista	Nombre d'articles
1	<i>Journal of the American Chemical Society</i>	8
2	<i>Angewandte Chemie International Edition</i>	5
2	<i>Nano Letters</i>	5
4	<i>Nature Materials</i>	4
4	<i>Physical Review B</i>	4
4	<i>Physical Review Letters</i>	4
4	<i>Science</i>	4
8	<i>Journal of Catalysis</i>	3
8	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i>	3
8	<i>Sensors and Actuators B: Chemical</i>	3
8	<i>Trends in Analytical Chemistry</i>	3

D'aquestes dades, se'n desprèn la dificultat per publicar en les revistes de més impacte (*Science* i *Nature*), probablement influïda per una manca de tradició de publicar en aquestes revistes per part dels autors catalans. Convé mencionar aquí que la rellevància internacional de la recerca en nanotecnologia a Catalunya ha anat augmentant en els darrers anys: creiem que la realització de la mateixa anàlisi d'impacte de les publicacions científiques en les properes edicions del report mostrarà un canvi de tendència en aquest sentit.

3.2. Tesis doctorals

D'acord amb les dades subministrades per l'Observatori de la Recerca de l'IEC, un total de cent vuitanta-tres tesis relacionades amb la temàtica de la nanotecnologia varen ser defensades en el període 2003-2009 a Catalunya. S'han destriat segons el títol de la memòria, sigui perquè conté el prefix *nano* explícitament o per la temàtica que se'n desprèn. La tendència clara al llarg dels anys analitzats és d'un increment significatiu del nombre de tesis: es va triplicar el 2009 respecte del 2003.

El 90 % de les tesis han estat realitzades a l'àrea del Barcelonès i del Vallès. Per lloc de realització, es distribueixen majoritàriament entre el nucli ubicat a la ciutat de

Barcelona, format per la UB i la UPC, i el campus de la UAB. Mentre que el nombre de tesis és constant en el nucli UB-UPC, la UAB registra un augment molt notori que pot relacionar-se amb la creació de l'ICN i l'augment de grups de recerca del CSIC amb activitat en nanociència i nanotecnologia.

TAULA 7

Distribució de les tesis doctorals de temàtica relacionada amb la nanotecnologia

Universitats	Departament	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
UAB	Física	2	1	2	1	5	8	12	31
UAB	Química	2	5	5	5	4	10	7	38
UAB	Eng. Electrònica	1		2	1	4	2	3	13
UAB	Altres					1			1
UAB	Total	5	6	9	7	14	20	22	83
UB	Física	4	2	1	2	1	2	3	15
UB	Química	1	3	5	4	7	8	3	31
UB	Electrònica	1	1		1	2	4		9
UB	Farmàcia	1		1		1			3
UB	Altres		1		1	1			3
UB	Total	7	7	7	8	12	14	6	61
UPC	Ciència dels materials						1	4	5
UPC	Física		1				1	2	4
UPC	Electrònica	1		5					6
UPC	Òptica					1		1	2
UPC	Total	1	1	5	0	1	2	7	17
URL	Eng. Industrial i Comunic.			2				1	3
URV	Química i Eng. Química		1	1	3	3	4	7	19
Total		13	15	24	18	30	40	43	183

Convé destacar també que, durant el període 2003-2009, es van crear programes de màster i doctorat de Nanociència i nanotecnologia a la UB; a la URV varen iniciar-se tots dos programes el curs 2006-2007, mentre que la UAB va emprendre el màster de Nanotecnologia el curs 2007-2008.

4. FINANÇAMENT

El finançament per als grups de recerca en nanotecnologia del sector públic prové principalment de tres fonts: plans de recerca de la Generalitat de Catalunya (III Pla de Recerca de Catalunya 2001-2004 i Pla de Recerca i Innovació de Catalunya 2005-2008), Pla Nacional de Recerca Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica de l'Estat espanyol (2000-2003, 2004-2007 i 2008-2011) i els FP6 i FP7 de la UE.

Ambdós plans de recerca de la Generalitat de Catalunya definien la nanotecnologia com una de les àrees prioritàries, en sintonia amb el que succeeix als EUA i a Europa. De les accions realitzades en aquest context, cal destacar-ne la creació de l'ICN, l'any 2003, acció coordinada amb el CSIC, que va crear el CIN2. Altres centres de recerca de la Generalitat de Catalunya que aporten una activitat rellevant en nanotecnologia són l'IBEC, creat l'any 2005 a partir del Centre de Referència en Bioenginyeria de Catalunya (CREBEC); l'ICFO, creat l'any 2002, i l'ICIQ, inaugurat l'any 2003. Convé mencionar també l'ampliació de la Sala Blanca del Centre Nacional de Microelectrònica (CNM), amb un finançament del CSIC de 15 M€ dedicat a la construcció de l'edifici i la provisió d'equipaments (instruments i subministraments). A més, a l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB) s'ha creat la plataforma de nanoestructuració que complementa la infraestructura tecnològica del campus de la UAB en l'àmbit de la nanotecnologia.

Així mateix, el finançament de la recerca en nanotecnologia per part de la Generalitat de Catalunya s'ha dut a terme a través del finançament directe dels grups SGR i per convocatòries generals de beques, mobilitat i infraestructures.

El Pla Nacional de Recerca Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica de l'Estat espanyol ha finançat la recerca en nanociència i nanotecnologia principalment a través de les convocatòries de projectes de recerca científica, desenvolupament i innovació tecnològica; de les accions Ingenio 2010, que inclouen el programa CONSOLIDER i els projectes CIBER-BBN, així com de l'AENN. En la taula 8 es mostra el nombre de projectes concedits a grups de Catalunya durant el període 2003-2009. El total suposa aproximadament un volum de finançament de 50 M€.

TAULA 8

Nombre de grups participants en projectes finançats per l'Estat espanyol a Catalunya

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Pla Nacional	27	25	20	30	26	30	41	199
AENN			25	2	2	10	0	39
CONSOLIDER				6	4	13	1	24
CIBER-BBN					18			18
Total	27	25	45	38	50	53	42	280

Pel que respecta al finançament europeu, el caràcter multidisciplinari de la nanotecnologia fa que sigui difícil identificar amb exactitud el nombre de projectes amb participació catalana que presenten una activitat total o parcial en aquesta àrea. Per fer una estimació, hem analitzat el total de projectes amb participació catalana del programa NMP dels FP6 i FP7 de la UE. Tenint en compte que el programa NMP inclou temàtiques relacionades amb els materials i la producció que poden estar desvinculades del que hem definit com a nanotecnologia, hem seleccionat aquells projectes que hem pogut identificar que incloïen la temàtica nano i hem descartat els que fossin qüestionables. Som conscients, però, que també hi ha hagut participació (i, per tant, aportació econòmica) relacionada amb la nanociència en altres programes (TIC, energia, salut...), que no hem pogut analitzar per la manca d'una font documental que reculli de manera exhaustiva el total dels projectes de nanotecnologia finançats per la UE.

En la taula 9 es mostra la distribució del nombre de projectes europeus relacionats amb la nanotecnologia per anys i per tipologia de centres. En destaca la reducció del nombre de projectes entorn de l'any 2007, corresponent a l'època de transició entre l'FP6 i l'FP7. Per altra banda, és significativa la participació dels centres del CSIC, amb un 36 % dels projectes identificats com a nano i realitzats a Catalunya.

TAULA 9

Nombre de grups catalans que participen en projectes europeus del programa NMP, per anys i per tipologia de centres

<i>Any</i>	<i>Projectes</i>	<i>Centre</i>	<i>Projectes</i>
2004	12	CSIC	19
2005	13	Universitats	12
2006	6	CERCA	10
2007	1	PCB	3
2008	6	TECNIO	3
2009	14	Empreses	5

En resum, podem estimar la inversió directa en recerca a Catalunya per a l'àrea de nanotecnologia, durant el període 2003-2009, entre 125 M€ i 175 M€, que provenen tant del Govern català com de l'Estat Espanyol i dels fons europeus. Aquestes xifres no inclouen la despesa de personal de plantilla de les institucions, ni les aportacions corresponents a les convocatòries de beques predoctorals i postdoctorals.

5. ACTIVITAT INDUSTRIAL I SECTOR PRIVAT

El caràcter multidisciplinari (transversal) de la nanotecnologia fa que la seva incidència a la indústria privada (o, en general, al sector productiu) compregui molts camps diferents (electrònica, química, materials, medi ambient, energia, medicina...).

Està força estesa la idea que la nanotecnologia representa la nova revolució tecnològica, de gran impacte social i ambiental a mig termini. De manera efectiva i des del punt de vista de la disponibilitat de productes al mercat a escala mundial, només recentment comença a tenir una certa incidència, de manera puntual, en àrees com ara l'electrònica (aplicacions concretes en informació i comunicacions), la química (sensors), els materials (nanocompòsits) i, de manera més important, en el sector mèdic (diagnosi i teràpia).

En molts d'aquests casos, i sobretot en el període 2003-2009, la incorporació de la nanotecnologia a l'activitat industrial ha representat més una millora incremental que no pas un trencament respecte als mètodes tradicionals de producció.

També en aquest cas, fer una descripció completa de l'activitat en nanotecnologia és pràcticament inassolible. Segons el portal *Nanowerk*, a escala

internacional, es troben empreses amb activitat en nanotecnologia en els següents àmbits: indústria química, indústria de béns de consum, construcció, energia, medi ambient, indústria alimentària, indústria del metall, TIC, medicina i indústria farmacèutica, enginyeria de precisió i instrumentació, tèxtil i indústria del transport.

En el present document, i per manca d'una font més adient, hem analitzat en primer lloc l'activitat en recerca, desenvolupament i innovació (R+D+I) de les empreses amb raó social a Catalunya que hem identificat per la seva participació en les jornades «Aplicacions industrials de la nanotecnologia» (AIN), organitzades per Nanoaracat (vegeu «Fonts consultades»).

En el període 2003-2009, en la majoria dels casos, hi trobem empreses ja existents que incorporen solucions tecnològiques provinents de la nanotecnologia, principalment en l'àmbit de la biotecnologia (medicaments). Són accions normalment puntuals, algunes de les quals s'han anat enfortint posteriorment. Convé mencionar també l'activitat (encara que petita) a les plantes de producció ubicades a Catalunya de multinacionals com ara Henkel o BASF, principalment del sector químic, biomèdic o farmacèutic.

Hem identificat igualment algunes empreses creades durant la segona part del període 2003-2009. Es tracta, en gairebé tots els casos, d'empreses sorgides de grups de recerca i de l'àmbit de la biomedicina o la farmàcia.

L'anàlisi de les patents realitzades en aquest període presenta la dificultat addicional que els codis de classificació de nanotecnologia varen ser creats fa pocs anys, i, per tant, cal determinar una metodologia alternativa a les consultes directes. S'han buscat patents amb el terme *nano* al títol o al resum a les bases de dades INVENES, de l'Oficina Espanyola de Patents i Marques (OEPM), i *Espacenet*, de l'Oficina Europea de Patents (EPO), més un criteri de localització geogràfica.

En aquest sentit, hi trobem la dificultat afegida que les sol·licituds realitzades pels centres del CSIC es comptabilitzen a Madrid, i, per tant, no figuren en l'anàlisi. Considerant que el nombre de grups del CSIC amb activitat en nanotecnologia a Catalunya és de quinze sobre un total de cinquanta-un, es podria afirmar, en una primera aproximació, que prop del 33 % (corresponent a la porció de les patents sol·licitades pel CSIC) de la producció de patents pot no estar representada en la comptabilització de Catalunya. En les taules 10 i 11 es mostra una anàlisi quantitativa comparativa.

TAULA 10
Patents sol·licitades per entitats catalanes i espanyoles a l'OEPM

<i>Any</i>	<i>Espanya</i>	<i>Catalunya</i>	<i>% Catalunya</i>
2003	12	1	8,3
2004	15	2	13,3
2005	23	5	21,7
2006	11	1	9,1
2007	30	6	20,0
2008	50	6	12,0
2009	57	8	14,0
Total	198	29	14,6

Nota 1: patents amb *nano* al títol o al resum.

Nota 2: les patents del CSIC (67) s'imputen a Madrid.

TAULA 11
Patents sol·licitades per entitats catalanes i espanyoles a l'EPO

<i>Any</i>	<i>Espanya</i>	<i>Catalunya</i>	<i>% Catalunya</i>
2003	4	1	25,0
2004	7	2	28,6
2005	11	3	27,3
2006	11	6	54,5
2007	4	2	50,0
2008	9	3	33,3
2009	7	1	14,3
Total	53	18	34,0

Nota 1: patents amb *nano* al títol o al resum.

Nota 2: les patents del CSIC (10) s'imputen a Madrid.

En aquest cas notem que les patents identificades pertanyen a quatre àmbits diferents: nous materials, biomedicina, farmàcia i electrònica, principalment. Les patents sol·licitades a l'OEPM mostren un clar augment amb els anys, que no es reflecteix en el cas de les patents sol·licitades a l'EPO. En tot cas, el baix nombre de patents que hem pogut trobar pot ser un reflex que la recerca amb rellevància industrial en nanotecnologia es troba, l'any 2009, encara a les beceroles. Caldria contrastar si aquesta dada no és sinó el reflex d'una característica que és comuna a tots els sectors productius de la indústria del nostre país.

Entre els centres identificats amb la marca TECNIO (tecnologia diferencial, innovació empresarial i excel·lència en gestió), hi trobem pocs casos que durant el període 2003-2009 declarin una activitat primordialment relacionada amb la nanotecnologia. Aquests centres són el Centre de Nanotecnologia i Materials Moleculars (NANOMOL), adscrit al CSIC a través de l'ICMAB; CCiTUB; la Fundació Privada Associació Catalana d'Empreses de Motlles i Matrius (ASCAMM), i el centre tecnològic LEITAT.

Finalment, i dins del programa Ingenio 2010, l'Estat espanyol va finançar projectes consorciats de gran dimensió i llarg abast destinats a estimular la cooperació entre el sector públic i el privat en investigació industrial (projectes CENIT). Dels noranta-un projectes finançats, n'hi ha tres que inclouen temàtiques de nanotecnologia. Tots tres compten amb participació catalana i estan relacionats amb l'àrea biomèdica i farmacèutica. Són els projectes NanoFarma, ONCNOSIS i Intelimplant.

6. CONCLUSIONS

El període 2003-2009 ha estat una etapa transcendental per a l'establiment d'unes bases fermes que haurien de permetre una consolidació d'una activitat de recerca en nanotecnologia d'excel·lència i quantitativament rellevant a Catalunya.

L'augment en el nombre de grups de recerca implicats en nanotecnologia ha donat lloc a una evolució positiva de la competitivitat de la recerca feta a Catalunya. Aquest augment ha estat proporcionat, en gran mesura, per les accions governamentals específiques dutes a terme, especialment la creació de centres de recerca de la

Generalitat de Catalunya, i accions puntuals per part de les universitats i el CSIC. La cocreació del CIN2-ICN n'és l'exemple més rellevant.

Durant el període 2003-2009, l'augment més significatiu dels resultats de la recerca el trobem en el nombre de publicacions científiques, moltes de caràcter fonamental, així com en el nombre creixent de tesis doctorals completades. Aquest últim aspecte és especialment important, ja que garanteix una massa crítica d'investigadors formats en aquesta àrea, la futura continuïtat dels quals a Catalunya és, sens dubte, un tema a analitzar en els propers reports.

Respecte al finançament, la pràctica absència d'un programa específic de nanotecnologia en l'àmbit de l'Estat espanyol fa que no hi hagi hagut un augment considerable durant aquest període de la inversió a través de projectes de recerca. Probablement, l'efecte d'aquesta mancança no ha estat tan evident, ja que hi ha hagut les accions especials anteriorment mencionades per part del Govern de la Generalitat i, en menor proporció, per part del CSIC.

L'activitat de recerca a la indústria i la transferència de tecnologia han estat escasses en aquest període. Això és degut principalment al fet que ens trobem amb una disciplina relativament nova i que proporciona mètodes i tècniques, sovint, disruptius respecte als tradicionals. De totes maneres, l'evolució en els anys posteriors al període d'aquest report comença a mostrar un canvi de tendència, i creiem que el paper de la nanotecnologia a la indústria catalana pot ser cada cop més destacat.

Per exemple, la nanobiotecnologia i la nanobiomedicina seran àrees de recerca estratègiques a Catalunya. Barcelona, referent mundial en medicina i amb una tradició centenària, ha de ser motor de la recerca en aquests àmbits, amb creació de coneixement i indústria altament especialitzades. Aquest és un model a continuar, ja que atrau científics i tecnòlegs altament qualificats i genera activitat econòmica. El mateix es pot promoure en altres àrees relacionades, per exemple, amb la química i els materials, especialment en altres localitzacions de Catalunya.

Així com s'ha fet una aposta ferma pel sincrotró ALBA a l'entorn del campus de la UAB, projecte finançat pels governs català i espanyol, que contribuirà, entre altres àrees, de manera rellevant, a l'activitat de recerca en l'àmbit de la nanotecnologia, cal esmentar la mancança d'altres instal·lacions imprescindibles per a la nanotecnologia, com, per exemple, les relacionades amb les microscòpies electròniques avançades. Difícilment es pot entendre una activitat de primer nivell sense aquestes eines. Seria convenient seguir el model dels nous centres de microscòpies avançades que s'han

establert recentment a l'Institut de Nanociència d'Aragó, a Saragossa; a la Universitat Complutense de Madrid; a Sant Sebastià (NanoGune), així com a les universitats de Granada i Cadis.

Els autors del report som conscients que un document d'aquestes característiques podria contenir un recull més exhaustiu de dades i un grau superior de profunditat d'anàlisi, però confiem que haurem sabut confeccionar un estudi adequat i correcte que il·lustri els principals trets de l'activitat de recerca en nanotecnologia a Catalunya durant el període 2003-2009, que podrà servir com a punt de partida per a futures anàlisis de l'evolució d'aquest camp científicotecnològic a Catalunya.

FONTS CONSULTADES

Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca:

<<http://www.gencat.agaur>>

Iniciativa Nacional de Nanotecnologia:

<<http://www.nano.gov>>

Jornades «Aplicaciones industriales de la nanotecnología»:

<<http://ainjornadas.es/jornadas-antteriores/i-jornada-ain>>

Mapping excellence in science and technology across Europe. Nanoscience and nanotechnology:

<ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/indicators/docs/mapex_nano.pdf>

Nanoaracat:

<<http://www.nanoaracat.com>>

Nanociencia y nanotecnología en España. Fundación Phantoms, 2011.

«Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials and new production processes and devices»:

<<http://cordis.europa.eu/fp6/nmp.htm>>

Nanowerk:

<<http://www.nanowerk.com/products/products.php>>

Observatori de la Recerca de l'IEC:

<<http://meridia.iec.cat>>

Oficina Estadística de la Unió Europea (Eurostat):

<<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/themes>>.

Physics and Astronomy Classification Scheme, de l'Institut Americà de Física:

<<http://www.aip.org/pacs>>

MALUQUER DE MOTES I BERNET, J. *La recerca i la innovació a Catalunya l'any 2004.*

Barcelona: Consell Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica, 2008.

Thomson Reuters:

<<http://thomsonreuters.com>>

«Top 20 countries: citations in five-year increments»:

<<http://sciencewatch.com/dr/cou/2012/12janALLgraphs>>

UNESCO:

<<http://www.unesco.org/new/es/unesco>>

ANNEX 1

Grups de recerca consolidats (convocatòries de SGR2005 i SGR2009)

<i>Referència SGR convocatòria 2009</i>	<i>Referència SGR convocatòria 2005</i>	<i>Denominació del grup</i>	<i>Centre o institució</i>
2009 SGR 027		Quantum Nanoelectronics Group	ICN-CIN2
2009 SGR 035		Micronanotecnologies i nanoscòpies per a dispositius electrònics i fotònics	UB
2009 SGR 076		Nanobioelectronics & Biosensors Group	ICN-CIN2
2009 SGR 126		Caracterització avançada i nanoestructuració de materials	ICMAB-CSIC
2009 SGR 133		Grup de Transductors Químics	CNM-CSIC
2009 SGR 139		Grup de Recerca de la Interfície Físico/Biològica	URV
2009 SGR 150		Grup de Nanoestructures Fonòniques i Fotòniques	ICN-CIN2
2009 SGR 158		Quiralitat en superfícies i màquines moleculars	ICMAB-CSIC
2009 SGR 171		Nanostructured functional materials	ICN-CIN2
2009 SGR 185	2005 SGR 00666	Física i enginyeria de materials amorfs i nanoestructures	UB-UdG
2009 SGR 186	2005 SGR 00683	Laboratori i Grup d'Estructura Electrònica de Materials	ICMAB-CSIC
2009 SGR 207		Laboratori de Materials i Dispositius Optoelectrònics	ICIQ
2009 SGR 228		Micro i nanotecnologies	CNM-CSIC
2009 SGR 260		BioMEMS	CNM-CSIC
2009 SGR 265	2005 SGR 00582	Grup de Nanofabricació i Propietats Funcionals de Nanoestructures	CNM-CSIC
2009 SGR 270	2005 SGR 01014	Grup de Quimiometria, Qualimetria i Nanosensors	URV
2009 SGR 271	2005 SGR 00688	Física de biomolècules i sistemes petits	UB
2009 SGR 227	2005 SGR 00664	Bioelectroquímica i nanotecnologies	UB
2009 SGR 287		Nanofotònica	ICFO
2009 SGR 323	2005 SGR 00364	Grup de Sensors i Biosensors	UAB
2009 SGR 376	2005 SGR 00509	Materials magnètics nanoestructurats i llurs aplicacions	ICMAB-CSIC
2009 SGR 440	2005 SGR 00569	Enginyeria i materials electrònics, i energia	UB-IREC

2009 SGR 474	2005 SGR 01006	Biomaterials i mecanobiologia per a medicina regenerativa	IBEC
2009 SGR 505	2005 SGR 00376	Bioelectrònica i nanobioenginyeria	UB
2009 SGR 516	2005 SGR 00591	Materials orgànics i nanociència molecular	ICMAB-CSIC
2009 SGR 549	2005 SGR 00359	Nanoelectronic and photonic systems	URV
2009 SGR 558	2005 SGR 01032	Propietats optoelectròniques i superficials de materials nanoestructurats	ICMAB-CSIC
2009 SGR 597		Single molecule bionanophotonics (Bionanofotònica de molècules individuals)	IBEC
2009 SGR 605		Laboratorio de Materiales Nanoestructurados para Energía Fotovoltaica	ICN-CIN2
2009 SGR 695		Atomic Manipulation and Spectroscopy Group	ICN-CIN2
2009 SGR 770	2005 SGR 00029	Grup de Materials Superconductors i Nanoestructuració a Gran Escala	ICMAB-CSIC
2009 SGR 776		Inorganic Nanoparticles Group	ICN-CIN2
2009 SGR 783	2005 SGR 00061	Enginyeria de dispositius micro i nanoelectrònics	UAB
2009 SGR 789	2005 SGR 01084	Microsystems and nanotechnologies for chemical analysis	URV
2009 SGR 876		Grup de Nanomaterials Magnètics	UB
2009 SGR 911	2005 SGR 00822	Fisiopatologia i tractament de les malalties respiratòries	IDIBAPS
2009 SGR 1005	2005 SGR 00663	Disseny, síntesi i estructura de pèptids i proteïnes	UB
2009 SGR 1014	2005 SGR 00650	Grup de Biofísica de Macromolècules	UAB
2009 SGR 1041	2005 SGR 00697	Grup de Química Quàntica de Materials	UB
2009 SGR 1064		Grup de Magnetisme i Molècules Funcionals	UB
2009 SGR 1083		Grup de Nanoenginyeria de Materials Nanoestructurats amb Aplicacions Energètiques i Mediambientals	UPC
2009 SGR 1152	2005 SGR 00909	Grup de Preparació de Pel·lícules Primes Nanoestructurades de Materials Orgànics i Inorgànics	ICMAB-CSIC ICN-CIN2
2009 SGR 1179	2005 SGR 00664	Nanoestructura de biomembranes	UB
2009 SGR 1225	2005 SGR 00201	Grup de Recerca de Física i Enginyeria de Materials	UAB
2009 SGR 1263	2005 SGR 00329	Grup de Recerca en Micro i Nanotecnologies	UPC

2009 SGR 1292	2005 SGR 00401	Grup de Materials Nanoestructurats	UAB
2009 SGR 1331	2005 SGR 00812	Tensioactius	IQAC-CSIC
2009 SGR 1343		Applied Molecular Receptors Group	IIQAB-CSIC
2009 SGR 1375	2005 SGR 00157	Grup de Circuits i Sistemes Electrònics	UAB
2009 SGR 1441	2005 SGR 00305	Grup d'Estudis en Química Orgànica i Organometàl·lica	UAB
2009 SGR 1446	2005 SGR 00251	Materials: propietats elèctriques i electròniques	UPC

ANNEX 2A

Empreses catalanes participants a les jornades AIN

<i>Any</i>	<i>Empresa</i>	<i>Temàtica/producte</i>	<i>Web</i>
2007	Willems & van den Wildenberg (W&W)	Consultoria	http://www.bwcv.es
	ADVANCELL	Bioteconologia, medicaments	http://www.advancell.net
	Activery	Medicaments	
	Oryzon Genomics	Medicaments	http://www.oryzon.com
2008	Clariant	Nanoemulsions, teixits	http://www.clariant.es
	Aromics	Medicaments	http://www.aromics.es
	Henkel	Química	http://www.henkel.es
	BASF	Química	http://www.basf.com
	Endor Nanotechnologies	Nanopartícules	http://www.endornanotech.com
2009	La Seda de Barcelona, SA	Polímers PET, nanocompòsits	http://www.laseda.es
	Knowledge Innovation Market BCN	Transferència de tecnologia	http://www.kimbcn.org
2010	Lipotec	Cosmètica	http://www.lipotec.com
	Grup ACCIONA	Arquitectura	http://www.acciona-infraestructuras.es/quiens_somos/directorio.aspx
	SEAT	Automoció	http://www.seat.com

ANNEX 2B*Altres empreses catalanes de creació recent relacionades amb la nanotecnologia***1. Farmàcia i biomedicina**

Argon Pharma, SL

PCB - Edifici Clúster

Baldiri Reixac, 10

08028 Barcelona

Arquebio

Campus de la UAB - Edifici Eureka

08193 Bellaterra (Barcelona)

<http://www.arquebio.com>

Endor Nanotechnologies

PCB - Edifici Hèlix

Baldiri Reixac, 15

08028 Barcelona

<http://www.endornanotech.com>

Infinitec Activos

PCB - Edifici Hèlix

Baldiri Reixac, 15-21

08028 Barcelona

<http://www.infinitec-activos.com>

Nanotargeting, SL

Còrsega, 516

08025 Barcelona

<http://www.nanotargeting.eu>

NanoTherapix, SL
Generalitat, 152
08174 Sant Cugat del Vallès (Barcelona)

NT Sensors, SL
Jaume I, 23
43764 El Catllar (Tarragona)
<http://www.nt-sensors.com>

Sepmag Technologies
Parc Tecnològic del Vallès - Centre d'Empreses de Noves Tecnologies
08290 Cerdanyola del Vallès (Barcelona)
<http://www.sepmag.eu>

Thrombotargets Europe, SL
Parc Mediterrani de la Tecnologia
Av. Canal Olímpic, s/n
Edifici B6, 2a planta
08860 Castelldefels (Barcelona)
<http://www.thrombotargets.com>

Trinity Technologies Europe
Campus de la UAB - Edifici Eureka P1M4
08193 Bellaterra (Barcelona)

VCN Biosciences, SL
Bioincubadora-BioPol'H
Gran Via de l'Hospitalet, 199-203
08908 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)
<http://www.vcnbiosciences.com>

2. Resta d'àmbits

Electronic NanoSystems, SL
Baldiri Reixac, 4 - Torre D
08028 Barcelona

Nanotec Red, SL
Via Augusta, 252, planta 4, A
08017 Barcelona

<http://www.nanotecred.com>